

*А.Н. Чусов*

**СКЛАДИРОВАНИЕ И ЗАХОРОНЕНИЕ ДОННОГО ГРУНТА,  
ИЗВЛЕЧЕННОГО В ПРОЦЕССЕ ДНОУГЛУБЛЕНИЯ,  
В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ**

*A.N. Chusov*

**LAND-BASED PLACEMENT OPTIONS FOR SEDIMENTS ARISING  
FROM DREDGING PROJECTS**

*Рассматриваются технологии и перспективы складирования и захоронения донного грунта, полученного в результате реализации дноуглубительных («дреджинговых») проектов, в наземных условиях. Оцениваются возможные экологические последствия размещения «дреджингового материала» в изолирующих сооружениях для отвала грунта (ИСОГ). Предлагаются меры контроля экологической ситуации в местах складирования и захоронения донного грунта.*

*Ключевые слова: «дреджинговый материал», загрязненные донные отложения, изолирующее сооружение для отвала грунта.*

*Perspectives and technologies of dredged sediments («dredging material») placement in land-based conditions are observed. Potential environmental effects and risks of «dredging material» replacement in confined placement facilities (CDF) are evaluated. Control measures for optimisation of environmental situation in areas of dredged sediments («dredging material») placement are proposed.*

*Key words: «dredging material», polluted bottom sediments, confined placement facilities.*

**Обзор вариантов обращения с грунтами, извлекаемыми при дноуглублении**

Каждый год миллионы кубических метров донных отложений, изымаемых в результате дреджинговых дноуглубительных работ, перемещаются на значительные расстояния от места изъятия и размещаются в водной среде или на суше [1, 2]. Перемещение извлеченного грунта («дреджингового материала») в пункт захоронения или на промежуточную площадку для дальнейшей обработки является окончательной фазой процесса дноуглубления. По тому, насколько успешно осуществлена эта фаза, судят об успешности дноуглубительного проекта в целом — по принципу «Конец — делу венец!». В полной мере это относится и к проектам, осуществляемым в восточной части Финского залива — регулярной очистке рек и каналов Санкт-Петербурга от отложений, дноуглубительным работам на действующих фарватерах, подводным горно-инженерным работам по проектам «Морской Фасад Санкт-Петербурга» и «Комплекс Защитных Сооружений Санкт-Петербурга от Наводнений» [2].

На данной фазе существует ряд вариантов для размещения грунта:

- образование новой искусственной территории в береговой зоне;

- подпитка пляжей;
- создание искусственных ветлендов (мелководий и водно-болотных угодий);
- складирование на суше;
- заполнение выработанных карьеров — сброс в котлованы;
- сброс в подводный отвал;
- утилизация на свалках.

Более 90 % морских грунтов, извлекаемых при реализации дреджинговых проектов, — относительно чистые. Они представляют собой естественные, незатронутые антропогенным воздействием отложения, и признаются допустимыми для широкого применения или для различных вариантов размещения. Остальные отложения в разной степени загрязнены в результате промышленной, муниципальной хозяйственной (городской) или сельскохозяйственной деятельности. Наличие в отложениях загрязняющих веществ может стать причиной экологических проблем и иногда вызывает сильные негативные реакции в обществе, что может препятствовать строительству новых объектов и поддержанию в рабочем состоянии важных судоходных каналов. Некоторые загрязнённые грунты, полученные в результате дноуглубления, требуют предварительной обработки по устранению или стабилизации (связыванию) загрязняющих веществ. Неспособность найти адекватные решения данной задачи может иметь серьёзные последствия для местной, региональной или даже национальной экономики.

Наиболее широко применяемый международный нормативный инструмент по регулированию вопросов, связанных с перемещением и захоронением извлеченного грунта — это Лондонская конвенция по предотвращению загрязнений морских экосистем от сброса отходов и других веществ (ЛК-1972) и Протокол к ней от 1996 г. [1, 2]. В соответствии с ЛК-1972, извлеченный при дноуглублении грунт может не подвергаться специальному химическому анализу и тесту на токсичность, если он отвечает любому из следующих трёх критериев:

- извлечён с места, удалённого от существующих и исторически установленных источников значительных загрязнений;
- состоит преимущественно из песка, гравия и/или скалистого грунта;
- состоит из ранее нетронутых горных пород.

Страны, которые подписали Лондонскую конвенцию и Протокол к ней (в том числе — Россия), обязуются не размещать загрязненные донные отложения в подводных отвалах. Это накладывает существенные ограничения на выбор вариантов утилизации и/или захоронения «дреджингового материала». В частности, вопрос выбора места складирования и захоронения извлеченного грунта остро стоит в Санкт-Петербурге и прибрежных территориях Ленинградской области. Размещение загрязненных донных отложений на подводных отвалах в Финском заливе запрещено. Размещение незагрязненных отложений разрешено, но действующие в восточной части Финского залива отвалы практически заполнены [3–6]. Это заставляет специалистов обратить внимание на перспективы складирования и захоронения «дреджингового материала» в наземных условиях.

### *Возможные экологические воздействия при наземном размещении грунта*

На настоящий момент единственным местом наземного захоронения «дреджингового материала» в Санкт-Петербурге является золоотвал в районе ТЭЦ-14 в устье реки Красненькая, впадающей в Финский залив в юго-западной части города. К настоящему времени емкость данного отвала практически заполнена; кроме того, рядом расположились новые жилые кварталы. Указанные обстоятельства требуют скорейшего поиска новых инженерных решений по складированию и захоронению донного грунта в наземных условиях в окрестностях Санкт-Петербурга.

Можно отметить следующие типы воздействия перемещения извлеченного грунта на состояние природной среды в случае наземного захоронения «дреджингового материала».

1. Использование значительных площадей и нарушение природного ландшафта — главный вид воздействия, причем хорошо заметный не только специалисту, но и любому стороннему наблюдателю.
2. Распространение размещенного грунта в результате процессов эрозии и дисперсии под воздействием ветра или дождевого поверхностного стока. Кроме того, загрязнение местности тонкодисперсными частицами может иметь место при неправильно организованном дренаже и водоотведении на площадке размещения грунта.
3. Шум и загрязнение воздуха обычно связаны с работой наземной строительной техники, обеспечивающей функционирование и сохранность площадки для размещения грунта (экскаваторы, бульдозеры, погрузчики).
4. Снижение качества грунтовых вод при неправильном размещении площадки (без учета её влияния на грунтовые воды), или при неправильном оборудовании площадки, когда не предусмотрены водонепроницаемые экраны.

Мы видим, что проявление негативных экологических последствий зависит от:

- свойств извлеченных грунтов;
- выбора площадки для размещения грунта;
- особенностей оборудования и технологии, используемых для размещения извлеченного грунта.

В настоящее время для преодоления негативных экологических эффектов практикуется размещение грунта в «Изолирующих сооружениях для отвала грунта» — ИСОГ (Confined Disposal Facility — CDF). ИСОГ — это специальный изолированный участок, обеспечивающий полное укрытие (по горизонтали и по вертикали) извлеченного грунта от окружающей воды и почвы. ИСОГ могут быть устроены как на суше на значительном удалении от воды, так и непосредственно в береговой зоне.

Потенциальные экологические воздействия ИСОГ можно распределить на две основные категории:

- прямые физические воздействия во время строительства и после наполнения;
- воздействия, связанные с загрязняющими веществами.

Прямые физические воздействия могут включать перекрытие или трансформацию существующей среды обитания, изменение топографии, изменения гидрологических

условий (например, изменение режимов циркуляции в поверхностных водах, изменения подземного стока). Дальнейшие воздействия могут включать нарушение условий землепользования, деградацию эстетических или культурных ценностей принимающей территории, шумовое загрязнение во время строительства и заполнения.

Загрязняющие вещества могут покидать загрязнённый участок различными путями и при этом загрязнять окружающую почву, грунтовые воды, поверхностные воды и воздух. Воздействие этих веществ может привести к негативным последствиям для экологических реципиентов и людей. Нетоксические загрязняющие вещества могут ухудшить качество поверхностных и грунтовых вод. Воздействие токсических загрязняющих веществ включает острую летальную реакцию или хроническую сублетальную реакцию представителей флоры (растительности), фауны (животного мира) и людей, ухудшая состояние здоровья, выживаемость и/или воспроизводство. Негативное влияние на здоровье человека включает в себя канцерогенные и неканцерогенные воздействия на организм, а также нарушения нервной системы.

Загрязняющие вещества могут распространиться за пределы границ ИСОГ за счёт действия следующих пяти возможных механизмов:

- выход сбросных вод в поверхностные воды во время заполнения и последующего оседания и обезвоживания;
- поверхностный дождевой сток в поверхностные воды после заполнения;
- утечка в прилегающие почвы, грунтовые и поверхностные воды;
- выход газов и летучих веществ в атмосферу;
- непосредственное накопление (биоаккумуляция) растениями и животными, живущими на грунте, извлеченном при дноуглублении, и последующее попадание в пищевую цепь.

Возможные пути выхода загрязняющих веществ для наземных ИСОГ, построенных выше уровня грунтовых вод, и пути выхода для ИСОГ в береговой зоне показаны на рис. 1.

Относительная важность путей выхода загрязняющих веществ для ИСОГ в береговой зоне отличается от наземных ИСОГ из-за того, что в береговой зоне размещённые отложения могут оставаться водонасыщенными, сжатыми и аноксичными, с минимальной подвижностью загрязняющих веществ. Колебание уровня воды, однако, через накачивающее действие может привести к растворимой конвекции через наружную насыпь в частично водонасыщенной зоне и к растворимой диффузии из водонасыщенной зоны через насыпь.

Основными путями распространения загрязняющих веществ за пределы ИСОГ являются следующие.

1. Слив — это надосадочная вода, сбрасываемая из ИСОГ во время заполнения и первоначального обезвоживания. Слив состоит из транспортной воды, воды, вымещенной размещённым грунтом дноуглубления (на площадках в прибрежных зонах или на островах), и внутрипоровой воды, вытесненной во время уплотнения и оседания осадка на площадке во время заполнения. Сливная вода будет присутствовать всегда, независимо от метода заполнения ИСОГ.

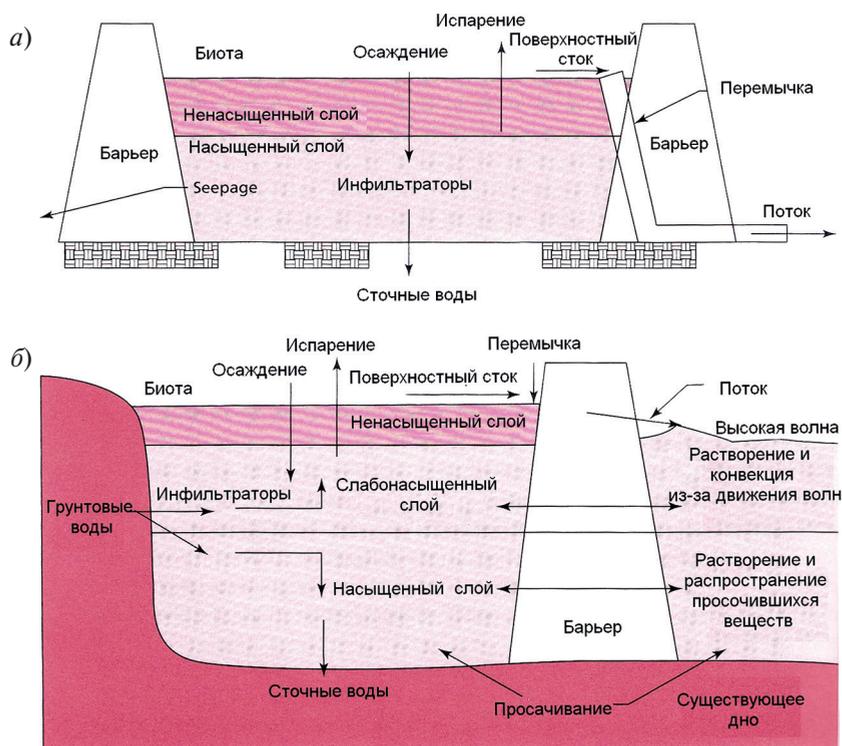


Рис. 1. Пути миграции загрязняющих веществ для (а) наземных ИСОГ и (б) ИСОГ в прибрежных зонах [7].  
 Просачивание = инфильтрация. Высокая волна = высшая точка прилива.  
 Горизонтальная линия на нижнем рисунке (б) соответствует низшей точке прилива

Надосадочные воды сливаются из ИСОГ после периода удерживания, что позволяет осесть частицам грунта. Время удерживания может варьироваться от нескольких часов до нескольких дней, в зависимости от конструкции заполненной водой площади и расположения водослива. Как правило, сливные воды сбрасываются в близлежащие поверхностные воды. Ввиду относительно больших объёмов, сливаемых во время операций по заполнению, главную заботу вызывают краткосрочные воздействия на принимающие воды. Негативные воздействия могут возникнуть из-за высокого содержания взвешенных веществ и сопутствующих загрязняющих веществ. Загрязняющие вещества также могут присутствовать в коллоидной или растворённой форме. Концентрация взвешенных твёрдых веществ в сливной воде зависит от характера оседания на заполненной водой площади, от повторного взвешивания отложений рядом с входным отверстием из-за вертикального потока воды через скопление ила во время оседания и эрозии на поверхности, вызванной волнами и ветром.

2. Поверхностный дождевой сток — это вода, сбрасываемая из ИСОГ после выпадения осадков. В отличие от пути выхода со сливной водой, выход с поверхностным стоком может оставаться проблемой на протяжении всего времени существования

ИСОГ. Поверхностный сток обычно сливается в поверхностные воды. Он также может сливаться на поверхность окружающих почв. Качество поверхностного стока с полностью или частично водонасыщенного ИСОГ — такое же, как и качество сбросной воды: ввиду эрозии, вызванной дождём, эта вода может содержать высокую концентрацию взвешенных твёрдых частиц. Поскольку преобладают анаэробные, бескислородные условия, то большинство загрязняющих веществ поглощаются этими частицами. Как результат анаэробных условий, содержание биогенных элементов может быть высоким.

Сток из сухого, окисленного грунта может значительно отличаться от качества сливной воды: он может содержать меньшее количество взвешенных твёрдых частиц, поскольку эрозия в результате дождя слабее. В результате аэробных условий, и особенно — если сухой слой — кислотный, поверхностный сток может содержать повышенный уровень тяжёлых металлов. Органические загрязняющие вещества впитываются в грунт и органические твёрдые частицы и остаются связанными с взвешенными твёрдыми частицами в водах поверхностного стока. Дождевая вода может растворять и перемещать соль, которая накапливается на поверхности по мере высыхания. Факторы, влияющие на качество стока, помимо состояния водонасыщенности грунта, включают в себя: технологию заполнения ИСОГ, глубину запруды, скорость стока и растительный покров.

3. Утечка продуктов выщелачивания — это выход воды с сопутствующими растворёнными и коллоидными веществами, которая просачивается через «дреджинговый материал», насыпи или грунтовое основание. Продукты выщелачивания могут образовываться из трёх потенциально возможных водных источников: вода, изначально содержащаяся в порах; впитывание (инфильтрация) дождевых осадков; протечка грунтовых или поверхностных вод на площадку. Основную озабоченность вызывают продукты выщелачивания, которые могут достичь грунтовых вод. Продукты выщелачивания, как правило, не содержат твёрдых частиц. Однако, они могут содержать высокий уровень растворённых загрязняющих веществ: продукты выщелачивания из сухого, кислотного грунта могут содержать большое количество тяжёлых металлов. Анаэробные продукты выщелачивания, с другой стороны, могут содержать много органических загрязняющих микровеществ. Русловые вычерпанные отложения могут выделять соль.

Возникновение и перенос продуктов выщелачивания в пределах и за пределы ИСОГ и миграция загрязняющих веществ через почвы грунтового основания и водоносные слои к потенциальным реципиентам, в частности — через водоносную скважину, — это достаточно сложные процессы (рис. 2). На эти процессы влияет целый ряд параметров, зависящих от характеристик площадки для размещения, размещённых отложений, водоносных слоёв и т.д. Оценка путей выхода продуктов выщелачивания сложна и включает прогноз концентрации загрязняющих веществ в продуктах выщелачивания, а если необходимо, — движение продуктов выщелачивания от ИСОГ к реципиенту.

4. Эмиссии газов и летучих веществ (испарительный перенос) — это переход растворённых летучих загрязняющих веществ из водной фазы в воздух. Испарительный перенос может происходить из «дреджингового материала» под воздействием воздуха, а в случае, если он покрыт растительностью, — из заполняющей воды и сливных вод. Скорость переноса загрязняющих веществ наиболее высока в течение первых нескольких часов после того, как воздействию воздуха подвергается поверхность извлеченного

грунта. После первоначальной просушки скорость будет ниже, чем в случае с поверхностями покрытыми водой. Поскольку заполненность водой может сохраняться в течение более длительного периода, это может привести к более высокому общему потоку массы загрязняющих веществ. В связи с этим, состояние заполненности водой обычно наиболее критично для большинства ИСОГ. Этот подход вызывает озабоченность, только если отложения содержат повышенный уровень летучих органических соединений (бензол, толуол и т.п.).

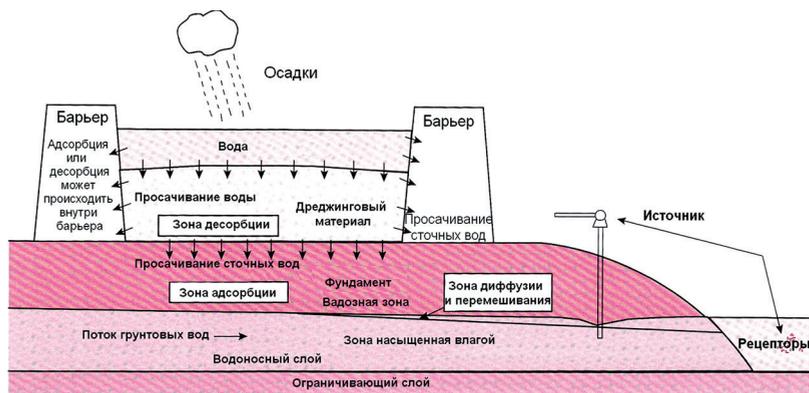


Рис. 2. Потенциальные пути проникновения продуктов выщелачивания [8]

5. Поглощение растениями и животными (биоаккумуляция) — начинается уже на ранних стадиях заполнения и становится постоянной, когда заполнение заканчивается, а площадка постепенно приобретает свойства естественного биотопа. Водные, заболоченные или наземные биотопы могут встречаться в разных частях ИСОГ одновременно или последовательно на разных стадиях существования ИСОГ. Поглощение растениями — это биологическое накопление загрязняющих веществ в тканях растений, растущих на дреджинговом материале. Поглощение животными — это биологическое накопление загрязняющих веществ в тканях животных, которые подвержены воздействию дреджингового материала прямо или косвенно через пищевую цепь. Биологическое накопление растениями или животными представляет проблему, только если через перенос загрязняющих веществ по пищевой цепи оказывается воздействие на организмы за пределами площадки. С точки зрения общей массы утечки, этот путь, возможно, незначителен по сравнению с путями, вовлекающими движение больших объемов воды. Биологическое поглощение, однако, способно привести к перемещению загрязняющих веществ за пределы ИСОГ труднопредсказуемыми путями.

***Меры контроля экологической ситуации***

Прямые физические воздействия на окружающую среду со стороны ИСОГ можно снизить путём уменьшения объёма грунта до или после его размещения. При этом

снижается потребность в обустройстве более крупных или дополнительных площадках. Меры по уменьшению объема захораниваемого грунта включают в себя следующие действия.

1. Модификация операций по извлечению грунтов и их размещению: сокращение глубины над местом проведения дноуглубления, повышение концентрации дреджингового материала в трубопроводе или использование механического извлечения и размещения грунта вместо гидравлических технологий.
2. Обработка отложений перед размещением — например, обезвоживание или отделение от песка и алеврита.
3. Обезвоживание осадков за счёт проведения канав, изоляции и вертикального или горизонтального дренажа в основании сооружения, размещения песчаных слоёв.
4. Периодический забор грунта из действующего ИСОГ для последующего использования (например — в качестве наполнителя при дорожном строительстве).

Прямые негативные физические воздействия на природную среду могут быть компенсированы за счёт создания альтернативных сред обитания (новых биотопов), благоустройства и озеленения близлежащих территорий.

Распространение загрязняющих веществ за пределы ИСОГ можно сократить или даже полностью приостановить, применяя ряд мер, которые можно разделить на две основных категории.

1. Обработка твёрдых частиц «дреджингового материала» и потоков сливной воды. Устранение взвешенных твёрдых частиц — это наиболее распространённый вид работ по очистке сливной воды и поверхностного стока. Используемые технологические операции — это механическое отстаивание, химическое процеживание и фильтрование.
2. Дополнительные меры по изоляции «дреджингового материала».

#### **Селективное размещение различных типов слоёв «дреджингового материала»**

Перемежение слоев чистого и загрязнённого грунта (также называемое прослаиванием) обеспечивает ослабление негативного воздействия или герметизацию загрязняющих веществ, так как при этом происходят поглощение/сорбция, ионный обмен, фильтрация, биологическое разложение и т.д. Размещение мелкозернистых глинистых грунтов с низкой проницаемостью на дне площадки или на внутренней поверхности насыпей будет действовать как герметическая изолирующая перегородка, сокращая утечку загрязнённого материала в грунтовые почвы или через насыпи. Размещение незагрязнённого грунта в качестве верхнего слоя в ИСОГ может выполнять роль покрытия или способствовать активному развитию растительности на площадке.

#### **Схема избирательного размещения**

Схема избирательного размещения предусматривает направленное размещение загрязнённых отложений в пределах ИСОГ, при котором загрязняющие вещества остаются относительно неподвижными. Избирательное размещение дреджингового материала возможно, например, относительно уровня воды в ИСОГ, расположенных в береговой зоне, чтобы поддерживать водонасыщенные, анаэробные условия, в которых

понижается миграционная подвижность многих загрязняющих веществ (особенно — тяжёлых металлов). Избирательное размещение ниже уровня грунтовых вод возможно в наземных ИСОГ с тем же эффектом.

### **Создание зоны усиленной седиментации**

Пункт сброса сливных вод изолируется от остальной поверхности ИСОГ стальной или бетонной конструкцией, которая создает «спокойную» зону с пониженными ветровыми воздействиями и улучшенными условиями седиментации. Контролируемое дозирование флокулянтов может ещё больше повысить эффективность седиментации. В настоящее время разработаны быстро распадающиеся флокулянты, не оказывающие долгосрочных негативных воздействий на окружающую среду.

### **Инженерные меры изоляции**

Инженерные меры изоляции применяются для сооружений, получающих сильно загрязнённый «дреджинговый материал», или расположенных на экологически чувствительных территориях. *Защитные покрытия* могут использоваться на дне или внутренней поверхности насыпи, чтобы сократить или предотвратить вымывание загрязняющих веществ с площадки. Могут использоваться как естественные, так и искусственные защитные покрытия.

Естественные защитные покрытия включают в себя глину, торф, определенную фракцию алеврита из извлеченного грунта. В дополнение к физической изоляции, они обладают хорошей способностью поглощать большие количества загрязняющих веществ. Из-за высокого содержания органического углерода (гумуса) торф является особенно эффективным поглотителем. Естественные защитные оболочки весьма привлекательны как с финансовой, так и с технической стороны. Их возможный расчетный срок службы составляет от нескольких сотен до тысячи лет, что является другим важным преимуществом перед синтетическими покрытиями.

Искусственные защитные покрытия включают в себя цементобетон, битумный бетон, бентонит, битумные покрытия и синтетические покрытия. Они различаются не только по физическим или химическим свойствам, но и по особенностям установки, стоимости и химической совместимости с жидкими отходами. Полиэтилен повышенной плотности и поливинилхлорид используются наиболее часто. Синтетические покрытия используются для изоляции сухих отложений, только если они имеют тенденцию набухать под воздействием жидких веществ, в результате чего повышается их проницаемость и снижаются эластичность и механическая прочность.

Выбор покрытий зависит от типа подстилающих грунтов, уровня грунтовых вод, необходимой проницаемости и устойчивости к механическим и химическим воздействиям.

Наиболее полезный опыт наилучшей практики в сфере использования ИСОГ на сегодняшний день накоплен в Голландии, где с 1987 г. в районе порта Роттердам функционирует ИСОГ «Слюфтер» (Slufter) объемом 150 млн м<sup>3</sup>, с 1990 г. — хранилище Кетелмеер (Ketelmeer) в провинции Флеволанд, и с 1994 г. — хранилище «Айзелох» (Ijseloog) [9].

## Литература

1. *Bray R.N. (ed.) Environmental Aspects of Dredging.* — IADC/CEDA/Taylor and Francis, 2008. — London, Leiden, New York, Philadelphia, Singapore, 2008. — 386 pp.
2. *Брэй Р.Н.* Экологические аспекты дреджинга. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 444 с.
3. *Голубев Д.А., Зайцев В.М., Клеванный К.А., Леднова Ю.А., Лукьянов С.В., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Шилин М.Б.* Комплексные экологические исследования состояния районов отвала грунта в Невской губе и восточной части Финского залива. // Инженерные изыскания, 2010, № 5, с. 36–42.
4. *Зайцев В.М., Клеванный К.А., Лукьянов С.В., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Шилин М.Б.* Оценка экологического состояния районов подводных отвалов грунта в Невской губе, // Гидротехника, 2010, № 2(19), с. 59–63.
5. *Шилин М.Б., Погребов В.Б., Лукьянов С.В., Мамаева М.А., Леднова Ю.А.* Экологическая уязвимость береговой зоны восточной части Финского залива к дреджингу. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 25, с. 107–122.
6. *Chusov A., Lednova J., Shilin M.* Ecological assessment of dredging in the Eastern Gulf of Finland. // Baltic International Symposium (BALTIC), 2012, p. 1–4. — DOI: 10.1109/BALTIC.2012.6249169.
7. *Brannon J.M.* Comprehensive analysis of migration pathways (CAMP): Contaminant migration pathways at confined dredgae material disposal facilities. // Miscellaneous paper 1990, D-90-5, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS, USA.
8. *Schroeder P.R., Aziz N.M.* Dispersion of Leachate in Aquifers. // DOER-C34, 2004, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, USA.
9. *Лисовский С.* Быть или не быть Санкт-Петербургу «Северной Венецией»? // Общество и экология, 2015, № 6(161), с. 1–2.